# 凍結融解を受けたコンクリートの引張強度に関する基礎的検討

(独)土木研究所寒地土木研究所　　正会員　○林田　宏
北海道大学大学院工学研究科　　正会員　　佐藤　靖彦

## 1　はじめに

著者らは，凍結融解作用を受けた鉄筋コンクリート部材の構造性能（最大荷重，変形挙動等）の予測手法の開発を最終的な目的とし，これまで検討を進めてきた[1)]。本論では，この研究の一環として行った，鉄筋コンクリート部材の変形挙動に大きな影響を与える凍結融解を受けたコンクリートの引張強度に関する検討結果について報告する。

## 2　試験概要

### 2.1　供試体

供試体は φ100×200mm の円柱を用いた。コンクリートはこれまでの検討[1)]と同一のものを用いた。配合表を**表-1** に示す。打設後 4 週目のコンクリートの圧縮強度は 33.6MPa である。なお，セメントには早強ポルトランドセメントを，骨材には粗骨材最大寸法 20mm の砕石を用いた。

### 2.2　凍結融解試験の概要

コンクリート打設後，4 週目まで水中養生を行った後，凍結融解試験を開始した。凍結融解試験は JIS A 1148 A 法に準じて行った。実験変数は相対動弾性係数（DF）であり，相対動弾性係数が概ね 90%から 20%まで 10%間隔で 8 水準の供試体を各水準 2 本ずつ作製し，それぞれ割裂引張試験および直接引張試験を行った。なお，各供試体の実際の相対動弾性係数は**図-2** の棒グラフ下に示す値である。

### 2.3　引張試験の概要

1）割裂引張試験

試験は JIS A 1113 に準じて行った。鉛直および水平直径上にひずみゲージを貼り付け，荷重の計測とともに載荷中のひずみの計測を行った。

2）直接引張試験

試験は**図-1** に示すような，圧縮力 P を載荷することで円柱供試体に簡易に引張力を作用させることが可能な鋼製治具を用いて行った[2)]。測定項目は，荷重および変位である。

## 3　試験結果および考察

### 3.1　引張強度に関する検討

割裂引張強度（以下「割裂強度」）と直接引張強度（以下「直接強度」）とを比較したものを**図-2** に示す。その結果，全ての水準で直接強度は割裂強度よりも低くなっている。また，図中の折れ線で示す直接強度と割裂強度との比は相対動弾性係数の低下に伴い，低下度合いが大きくなっている。さらに，**図-3** に示すように割裂強度と直接強度－割裂強度比（以下「強度比」）との関係は，健全なコンクリートの場合，図中の関係式に示すとおり，割裂強度が低下しても，強度比は若干低下する程度であるが，凍結融解を受けたコンクリートの場合，割裂強度の低下に伴い，強度比が健全な場合と比べて，大幅に低下する傾向にある。すなわち，凍結融解によりコンクリ

**表-1　配合表**

| 単位水量 (kg/m$^3$) | 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 空気量 (%) |
|---|---|---|---|
| 184 | 61 | 47.6 | 2.0 |

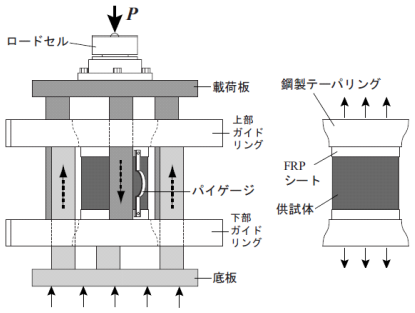


**図-1　直接引張試験の概要**

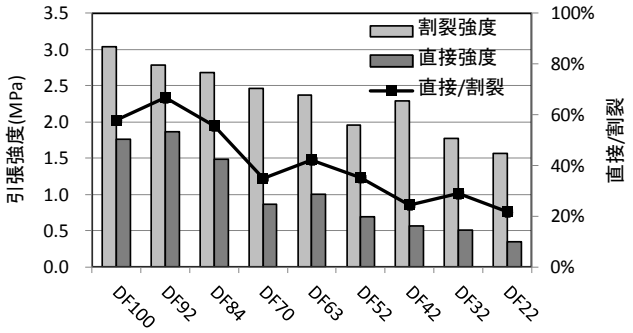


**図-2　割裂引張強度と直接引張強度との比較**

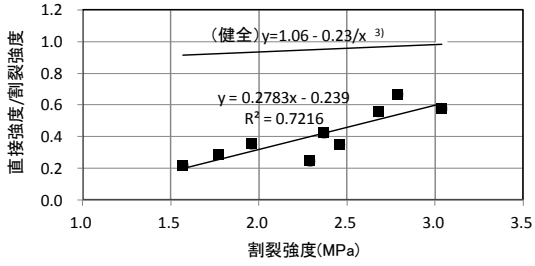


**図-3　割裂強度と直接強度-割裂強度比との関係**

キーワード　凍結融解，引張強度，割裂引張試験，直接引張試験
連絡先　　〒062-8602　札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号　耐寒材料チーム　TEL011-841-1719

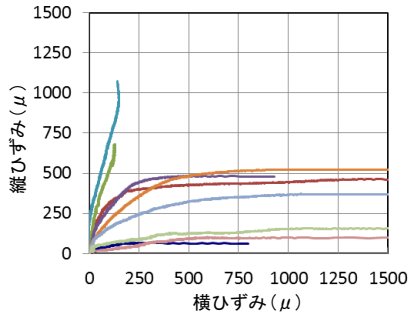


図-4 縦ひずみ-横ひずみ関係

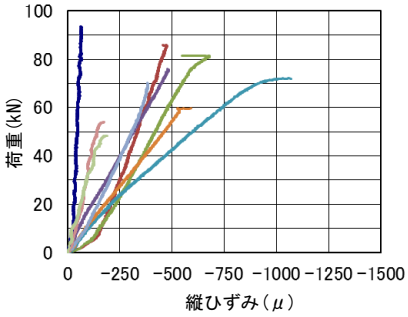


図-5 荷重-縦ひずみ関係

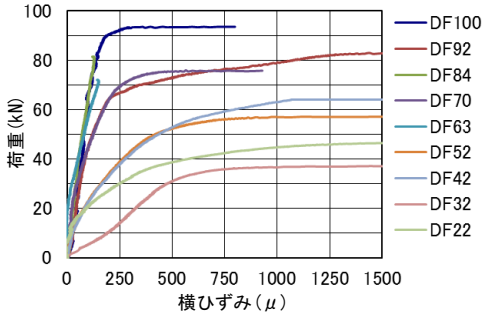


図-6 荷重-横ひずみ関係

ートが劣化すると，割裂強度と直接強度との関係が健全なコンクリートとは大きく異なることに注意する必要がある。

### 3.2 変形性状に関する検討

割裂引張試験の縦ひずみー横ひずみ関係，荷重ー縦ひずみ関係および荷重ー横ひずみ関係を**図-4～6** に示す。凍結融解作用を受けていない健全なコンクリートである DF100 の供試体では，**図-5，6** に示すように荷重が増加しても，縦ひずみはさほど増加せず，横ひずみは最大荷重付近に達した後で急増している。一方，凍結融解を受けたコンクリートは**図-4** に示すひずみの増加傾向から，大きく3つのグループに分けることができる。

まず，一つ目のグループ（以下「グループⅠ」）は DF92，70，52，42 の供試体で，劣化程度は「小」～「中」である。**図-5** に示すように同一荷重時の縦ひずみは健全なコンクリートに比べて大きくなっており，**図-6** に示す横ひずみも比較的小さい荷重の段階から，増加傾向にある。これは凍結融解作用で発生したマイクロクラックによりコンクリートが脆弱化したため，供試体が縦方向に潰れるのに伴い，横方向にはらみ出しているということを示していると考えられる。

次に，二つ目のグループ（以下「グループⅡ」）は DF84，63 の供試体で，劣化程度は「小」～「中」である。**図-5** に示すように縦ひずみの増加傾向はグループⅠと同様である。一方，**図-6** に示す横ひずみはグループⅠと異なり，さほど大きくならないまま終局に至っている。グループⅠとグループⅡの傾向が異なる理由については，今後，検討していきたい。

最後に，三つ目のグループ（以下「グループⅢ」）は DF32，22 の供試体で，劣化程度は「大」である。**図-5** に示すように縦ひずみは健全なコンクリートより大きいが，グループⅠより劣化が大きいにもかかわらず，縦ひずみは小さい。一方，**図-6** に示すように同一荷重時の横ひずみはグループⅠよりも劣化が大きいため，横ひずみは更に大きくなっている。また，割裂引張試験後のひび割れは，健全供試体および劣化程度「小」～「中」のグループⅠ，Ⅱの供試体（DF92 を除く）のひび割れが中央に 1 本のみであったのに対し，劣化程度が大きいグループⅢでは複数のひび割れが発生していた。

グループⅠ，Ⅲについて，割裂試験における応力比とポアソン比との関係を**図-7** に示す。全ての供試体において，応力比増大に伴い，ポアソン比が漸増している。また，同一応力比のポアソン比は，概ね，劣化程度に比例して，大きくなる傾向を示している。以上のことから，割裂試験において，凍結融解を受けたコンクリートは健全なコンクリートとは異なる変形性状を示し，劣化程度によっても変形性状は異なるが，その性状は幾つかのグループに区分できる可能性がある。

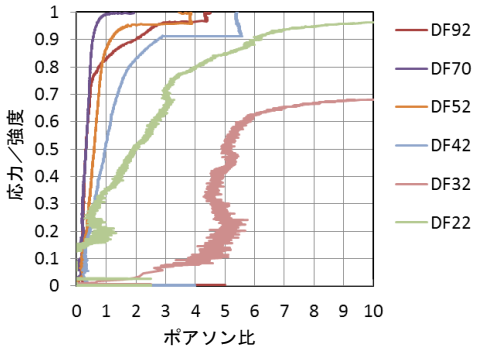


図-7 割裂試験における応力比とポアソン比との関係

## 4 まとめ

1) 凍結融解作用によりコンクリートが劣化すると割裂引張強度と直接引張強度との関係が，健全なコンクリートとは大きく異なることに注意する必要がある。つまり，割裂試験から既往の引張強度算定式で引張強度を求めると，危険側に評価する可能性が高い。

2) 凍結融解を受けたコンクリートは健全なコンクリートとは異なる変形性状を示し，劣化程度によっても変形性状は異なるが，その性状は幾つかのグループに区分できる可能性がある。

## 参考文献

1) 林田ら：凍害劣化を受けた RC はり部材の耐荷力等に関する基礎的研究，土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集,5-071,pp.141 -142 ,2011.9

2) 田口ら：PVA 短繊維および中空微小球を混入した補修・補強用吹付けコンクリートの材料特性，土木学会論文集 E, Vol.64, No.1, pp.94-109, 2008.2

3) Sandor Popovics, Strength and Related Properties of Concrete, John Wiley & Sons, Inc, p123 ,1998